# ২য় অধ্যায়

# গতি (Motion)

ভূমিকা: আমাদের চারপাশের দৃশ্যমান বিভিন্ন বস্তুর কোনোটি স্থির আবার কোনোটি গতিশীল। বস্তুর গতি বিষয়ে আলোচনা করতে হলে প্রথমেই জানা দরকার বলবিদ্যার সম্পর্কে। বল একটি বাহ্যিক কারণ, যা কোনো বস্তুর অবস্থা বা অবস্থানের পরিবর্তন ঘটায় বা ঘটাতে চায়। বলবিদ্যা সম্পর্কে জানতে হলে আমাদের পদার্থবিজ্ঞানের প্রকাভেদ সম্পর্কে জানতে হবে। পদার্থবিজ্ঞান সাধারণত দুই ভাগে বিভক্ত। পদার্থবিজ্ঞানের দুটি ভাগে বলের দুই রকমের আলোচনা করা হয়। ফলশ্রুতিতে গতি সম্পর্কেও দুই রকম আলোচনা করা হয়।

## বলবিজ্ঞান বা বলবিদ্যা

বলবিজ্ঞান, পদার্থবিজ্ঞানের মূল শাখা যা মানুষের চোখে দৃশ্যমান বৃহৎ জগৎ নিয়ে আলোচনা করে। পদার্থবিজ্ঞানের দুটি ভাগ থাকার কারণে বলবিদ্যারও দুটি ভাগ রয়েছে।

1. আধুনিক বা কোয়ান্টাম বা কণা বলবিজ্ঞান বা বলবিদ্যা
2. চিরায়ত বা সনাতনী বা ক্লাসিকাল বলবিজ্ঞান বা বলবিদ্যা

*আধুনিক বা কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞান:* কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞান হচ্ছে আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের একটি শাখা যা পরমাণু এবং অতিপারমাণবিক কণার বা তরঙ্গের ধর্মের সাহায্যে পদার্থের আচরণ ব্যাখ্যা করা হয়। কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞান কে অনেকসময় কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞানও বলা হয়।

*চিরায়ত বলবিজ্ঞান:* চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় বস্তু এবং বলের ক্রিয়া প্রতিক্রিয়া আলোচনা করা হয়, তাকে চিরায়ত বলবিজ্ঞান বলে।

আমাদের আলোচনা মূলত চিরায়ত বলবিজ্ঞানের গতি নিয়ে।

চিরায়ত বলবিজ্ঞানের প্রকারভেদ: চিরায়ত বলবিজ্ঞান মূলত দুইভাগে বিভক্ত। যথা—

1. স্থিতিবিদ্যা
2. গতিবিদ্যা

*স্থিতিবিদ্যা:* চিরায়ত বলবিদ্যার যে শাখায় স্থিতিশীল বস্তুর উপর বলের ক্রিয়া আলোচনা করা হয় তাকে স্থিতিবিদ্যা বলে।

*গতিবিদ্যা:* চিরায়ত বলবিদ্যার যে শাখায় গতিশীল বস্তুর উপর বলের ক্রিয়া আলোচনা করা হয় তাকে গতিবিদ্যা বলে।

গতিবিদ্যার প্রকারভেদ: গতিবিদ্যা আবার দুইভাগে বিভক্ত। যথা—
1. সৃতিবিদ্যা
2. চলবিদ্যা

*সৃতিবিদ্যা:* গতিবিদ্যার যে শাখায় বলের ক্রিয়া অনুসন্ধান না করে শুধুমাত্র গতি সম্পর্কে আলোচনা করা হয় তাকে সৃতিবিদ্যা বলে।

*চলবিদ্যা:* গতিবিদ্যার যে শাখায় বল ও গতির পারস্পরিক সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করা হয় তাকে চলবিদ্যা বলে।

আবার, প্রায়োগিক বিষয়ের উপর ভিত্তি করে বলবিজ্ঞানকে আরো কয়েকটি ভাগে ভাগ করে নেয়া হয়। যেমন—

- কঠিন বস্তুর বলবিজ্ঞান
- প্রবাহী বলবিজ্ঞান
- জ্যোতির্বলবিজ্ঞান

*কঠিন বস্তুর বলবিজ্ঞান:* বলবিজ্ঞানের যে শাখা কঠিন বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল বল, বলের প্রভাব, গতীয় অবস্থা প্রভৃতি নিয়ে আলোচনা করা হয়, তাকে কঠিন বস্তুর বলবিজ্ঞান বলা হয়।

*প্রবাহী বলবিজ্ঞান:* বলবিজ্ঞানের যে শাখায় প্রবাহী পদার্থের (তরল ও বায়বীয়) উপর ক্রিয়াশীল বল, বলের প্রভাব, গতীয় অবস্থা প্রভৃতি নিয়ে আলোচনা করা হয়, তাকে প্রবাহী বলবিজ্ঞান বলা হয়।

জ্যোতির্বলবিজ্ঞান: বলবিজ্ঞানের যে শাখায় মহাকাশে তথা পৃথিবীর বায়ুমন্ডলের বাইরে বিভিন্ন বস্তুর গতি এবং তার উপর ক্রিয়াশীল বল নিয়ে আলোচনা করা হয় তাকে জ্যোতির্বলবিজ্ঞান বলে।

## চিরায়ত বলবিজ্ঞান বনাম কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞান

বলবিজ্ঞানের দুটি প্রধান শ্রেণী হচ্ছে চিরায়ত বলবিজ্ঞান এবং কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞান। এই দুটির মধ্যে মূলনীতিগত বেশ ভালো রকমের পার্থক্য রয়েছে।

ঐতিহাসিকভাবে দেখলে চিরায়ত বলবিজ্ঞানই প্রথমে এসেছে আর কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞানকে বলা যায় নব্য বলবিজ্ঞান। চিরায়ত বলবিজ্ঞানের ইতিহাস মানুষের ইতিহাস রচনার ইতিহাসের চেয়েও পুরনো, অন্যথায় কোয়ান্টাম অংশটির অস্তিত্ব ১৯০০ সালের পূর্বেই ছিলনা। তবে এই দুটি বিজ্ঞান একসাথেই ভৌত প্রকৃতির সমগ্র অংশের ব্যাখ্যা করতে সমর্থ হয়।

## চিরায়ত বলবিজ্ঞানের সীমাবদ্ধতা

চিরায়ত বলবিজ্ঞান আমাদের বাস্তবিক জীবনের ঘটনাপ্রবাহের ব্যাখ্যা, বিশ্লেষণ ও হিসাব-নিকাশের জন্য খুবই উপযোগী। তবে, ঊনবিংশ শতকের শেষদিকে ও বিংশ শতকের শুরুর দিকে এমন বেশ কিছু ঘটনা বিজ্ঞানীরা পর্যবেক্ষণ করেন, যা বলবিজ্ঞানের প্রচলিত ধারণা ও সূত্র দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। এগুলো ব্যাখ্যা করতে গিয়েই আধুনিক কোয়ান্টাম বলবিজ্ঞানের সূচনা হয়।

### চিরায়ত বলবিজ্ঞান ব্যাখ্যা করতে পারে না এমন কিছু বিষয় হল—

- আলোর বেগের মত প্রচণ্ড বেগে গতিশীল বস্তুসমূহের গতীয় অবস্থাদি চিরায়ত বলবিজ্ঞান দ্বারা সঠিক ভাবে নির্ণয় করা যায় না।
- কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ সংক্রান্ত ঘটনা চিরায়ত বলবিজ্ঞান দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না।
- আলোর কাছাকাছি বেগে গতিশীল বস্তুর ক্ষেত্রে ভর বৃদ্ধি পাওয়া কিংবা ভর ও শক্তির পারস্পারিক রূপান্তর ইত্যাদি বিষয় ব্যাখ্যা করা যায় না।

## চিরায়ত বলবিজ্ঞানের আলোচ্যসূচি

চিরায়ত বলবিজ্ঞানের মূল আলোচ্য বিষয় বিভিন্ন প্রকার রাশি- যেমন: স্কেলার রাশি ও ভেক্টর রাশি, স্থিতিবিজ্ঞান, গতিবিজ্ঞান, সৃতিবিজ্ঞান, চলবিজ্ঞান, বিভিন্ন উপপাদ্য, রৈখিক গতিসূত্র বা নিউটনের গতিসূত্র, কৌণিক গতিসূত্র, জ্যোতির্বিজ্ঞান, তাপ ও তাপগতিবিজ্ঞান, তরঙ্গ, স্থিতিস্থাপকতা, প্রবাহী বলবিজ্ঞান, শব্দবিজ্ঞান, তড়িৎবিজ্ঞান, চৌম্বকবিজ্ঞান, আলোকবিজ্ঞান, পরিসাংখ্যিক বলবিজ্ঞান, নিউটনীয় বলবিজ্ঞান প্রভৃতি।

এই অধ্যায়ে চিরায়ত বলবিজ্ঞানের অন্তভূক্ত গতিবিদ্যার গতিবিষয়ক বিভিন্ন রাশি তাদের মধ্যকার পারস্পরিক সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করা হবে ইনশাআল্লাহ। এর আগে আমাদের আরও কিছু বিষয়ের উপর ধারণা রাখতে হবে, যা নিম্নে উল্লেখ করা হলো—

## প্রসঙ্গ কাঠামো, প্রসঙ্গ বিন্দু ও প্রসঙ্গ বস্তু

যখন বলা হয়, একটি বস্তু স্থির বা গতিশীল, তখন বুঝতে হবে কোনো দ্বিতীয় বস্তুর সাপেক্ষেই প্রথম বস্তুটি স্থির আছে অথবা অবস্থানের পরিবর্তন হচ্ছে। কোনো বস্তুর অবস্থান অপর একটি বস্তু সাপেক্ষে জানতে হলে ঐ নির্দিষ্ট বস্তুর সঙ্গে একটি স্থানাংক ব্যবস্থা ধরে নিতে হবে। অর্থাৎ যে স্থানাঙ্ক ব্যবস্থার সাহায্যে বস্তুর অবস্থান নির্ণয় করা যায় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। প্রসঙ্গ কাঠামোর যে বিন্দুর সাপেক্ষে বস্তুর অবস্থান নির্ণয় করা হয় তাকে প্রসঙ্গ বিন্দু বলে। আর যে বস্তুর সাথে তুলনা করে অন্য কোনো বস্তুর অবস্থান নির্ণয় করা হয় সেটিই প্রসঙ্গ বস্তু। অর্থাৎ আমরা প্রসঙ্গ কাঠামো, বিন্দু কিংবা বস্তুর সংজ্ঞা এভাবে লিখতে পারি—

**প্রসঙ্গ কাঠামো:** স্থির বা গতিশীল বস্তুর অবস্থান নির্ণয় করার জন্য যে স্থানাঙ্ক ব্যবস্থার প্রয়োজন হয় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বা নির্দেশ কাঠামো বলে।

**প্রসঙ্গ বিন্দু:** যে বিন্দুর সাপেক্ষে অন্য বস্তুর অবস্থান বা অবস্থানের পরিবর্তন অর্থাৎ স্থিতি বা গতি নির্ধারণ করা হয় তাকে প্রসঙ্গ বিন্দু বা মূল বিন্দু বলে।

**প্রসঙ্গ বস্তু:** যে দৃঢ় বস্তুর সাথে তুলনা করে অন্য কোনো বস্তুর অবস্থান, স্থিতি, গতি ইত্যাদি নির্ণয় করা হয় তাকে প্রসঙ্গ বস্তু বলে। প্রসঙ্গ বস্তু পরিবর্তনের সাথে সাথে কোনো বস্তুর স্থিতিশীলতা বা গতিশীলতারও পরিবর্তন হয়।

**মাত্রাভেদে প্রসঙ্গ কাঠামোর প্রকারভেদ:** মাত্রাভেদে প্রসঙ্গ কাঠামো তিন প্রকার। যথা—

1. এক মাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো
2. দ্বিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো
3. ত্রিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো

**একমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো:** কোনো বস্তু বা কণার গতি কোনো সরলরেখা বরাবর থাকলে তা, যে মূল বিন্দু সাপেক্ষে নির্ণয় করা সম্ভব তাকে একমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

**দ্বিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো:** পরস্পর লম্ব দুটি সরলরেখা দ্বারা গঠিত যে ব্যবস্থা দ্বারা সমতলে গতিশীল কোনো বস্তুর যে কোনো মূহুর্তের অবস্থা নির্দেশ করা যায় তাকে দ্বিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

**ত্রিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো:** পরস্পর লম্ব তিনটি সরলরেখা দ্বারা গঠিত যে ব্যবস্থা দ্বারা শূন্যস্থানে গতিশীল কোন বস্তুর যেকোন মুহূর্তের অবস্থান নির্দেশ করা যায়, তাকে ত্রিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

**জড়তাভেদে প্রসঙ্গ কাঠামোর প্রকারভেদ:** জড়তাভেদে প্রসঙ্গ কাঠামো দুই প্রকার।

1. জড় প্রসঙ্গ কাঠামো
2. অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো

**জড় প্রসঙ্গ কাঠামো:** যে সব প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র বা নিউটনের সূত্র প্রযোজ্য তাকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। অন্যভাবে, যারা পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুব বা সমবেগে গতিশীল তাদেরকে জড়প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। একে নিউটনীয় প্রসঙ্গ কাঠামো বা গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ কাঠামো বলা যায়।

**অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো:** জড় প্রসঙ্গ কাঠামো টি আপেক্ষিকভাবে ঘূর্ণায়মান বা অসমবেগে গতিশীল হলে সেখানে আর নিউটনীয়ান নীতি টিকে না। তখন ব্যবহার করতে আইন্সটাইনের আপেক্ষিক তত্ব। এ ধরনের কাঠামোকে বলা হয় অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো। মূলত, ত্বরণে গতিশীল বা ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ কাঠামো কে অজড় প্রসঙ্গ  কাঠামো বলে।

অর্থাৎ জড় প্রসঙ্গ কাঠামোটি যখন ঘূর্ণায়মান বা অসমবেগে গতিশীল হয় তখন তাকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। অন্যভাবে, যারা পরস্পরের সাপেক্ষে অসমবেগ তথা ত্বরণে গতিশীল তাদেরকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

## আপেক্ষিকতা বা আপেক্ষিক তত্ব (theory of relativity)

চিরায়ত বা ক্লাসিক্যাল বলবিদ্যার মতে স্থান (space), কাল (time) ও জড় (matter) বা ভর হচ্ছে ধ্রুবক, এগুলো আপেক্ষিক নয়। কিন্তু, আইনস্টাইন বলেন যে, স্থান, কাল ও জড় বা ভর কোনোটাই ধ্রুবক বা পরম কিছু নয় এগুলো সবই আপেক্ষিক। আইনস্টাইনের এই তত্বকে বলা হয় আপেক্ষিক তত্ব।

আপেক্ষিক তত্ব পদার্থবিজ্ঞানে এক আলোড়ন সৃষ্টিকারী তত্ব। এই তত্ব পদার্থবিজ্ঞান জগতে এক নতুন যুগের সূচনা করে। এই তত্বের প্রবর্তক আলবার্ট আইনস্টাইন।

**আপেক্ষিক তত্বের প্রকারভেদ:** আপেক্ষিক তত্ব মূলত দুই প্রকার। যথা—

1. বিশেষ আপেক্ষিক তত্ব
2. সার্বিক আপেক্ষিক তত্ব

**বিশেষ আপেক্ষিক তত্ব:** বিশেষ আপেক্ষিকতা স্থানকালের কাঠামোর একটি তত্ব। এটি মাত্র ২৬ বছর বয়সে আলবার্ট আইনস্টাইন প্রথম ১৯০৫ সালে 'On the Electrodynamics of Moving Bodies' নামক গবেষণা পত্রে প্রকাশ করেন।

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ব মূলত, স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে সমবেগে গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর কোনো ঘটনা বিশ্লেষণ বা কোনো ভৌতরাশির পরিমাপ সংক্রান্ত আলোচনা। এই তত্বের সাহায্যে কাল দীর্ঘায়ন বা সময় প্রসারণ, দৈর্ঘ্য সংকোচন এবং ভরের আপেক্ষিকতার ব্যাখ্যা করা হয়। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্বে স্থান ও কালকে একীভূত করা হয়েছে। স্থান ও কাল পৃথকভাবে বিচার্য বিষয় নয়। স্থান-কাল সমন্বয়ে যে চারমাত্রিক স্থানাঙ্ক (x,y,z,t) ব্যবস্থা, সেখানেই মহাবিশ্বের সব ঘটনা ঘটছে। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্বের উপর ভিত্তি করে আজকের আধুনিক নিউক্লিয়ার যুগের সুচনা হয়, তা হলো বস্তুর ভর ও শক্তির মধ্যে সম্পর্ক। আইন্সটাইন বলেন যে ভর ও শক্তির মধ্যে কোনো পার্থক্য নেই। এরা একই সত্বার দ্বৈত প্রকাশ। এই তত্বের বিষ্ময়কর অবদান হলো ভর শক্তি সম্পর্ক, $E = mc^2$ I আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্বের মূল বক্তব্য হলো, শধু অভিকর্ষ ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে স্থান, কাল ও ভর সকলেই আপেক্ষিক। কোনোটিই ধ্রুব বা পরম নয়।

**বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বীকার্য:**

- প্রথম স্বীকার্য: সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলো একই থাকে
- দ্বিতীয় স্বীকার্য: শূন্যস্থানে সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর দ্রুতির মান একই। (এই স্বীকার্য অনুযায়ী আলোর বেগকে সর্বোচ্চ ধরা হয়)

**সার্বিক বা সাধারণ আপেক্ষিক তত্ব:** সার্বিক আপেক্ষিক তত্ব মূলত, স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে অসমবেগে গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর কোনো ঘটনা বিশ্লেষণ বা কোনো ভৌতরাশির পরিমাপ সংক্রান্ত আলোচনা। মূলত, ত্বরণে গতিশীল বা ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ কাঠামো তথা অজড় প্রসঙ্গ কাঠামোর জন্য যে আপেক্ষিক তত্ব প্রযোজ্য তাকে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ব বলে।

স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে অসমবেগে গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামো টি যখন সমবেগে গতিশীল হয় তখন সার্বিক আপেক্ষিক তত্ব টি বিশেষ আপেক্ষিক তত্বে পরিণত হয়। সুতরাং বলা যায় বিশেষ আপেক্ষিক তত্ব হলো সার্বিক আপেক্ষিক তত্বের একটি বিশেষ রূপ।

আপেক্ষিকতার সাধারণ বা সার্বিক তত্ব পরস্পরের তুলনায় উর্ধ্ব বা নিম্ন গতিশীল বস্তুসমূহ বা সিস্টেম নিয়ে আলোচনা করে। যেমন সূর্য, চন্দ্র, নক্ষত্র, ধূমকেতু, উল্কাপিন্ড প্রভৃতির গতি, মাধ্যাকর্ষণ এবং সমপ্রসারণশীল মহাবিশ্বের ধারণা সম্পর্কে তার বৈজ্ঞানিক ও দার্শনিক মতবাদসমূহ আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্বের অন্তর্ভুক্ত। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের তুলনায় এটি বেশ জটিল। এটি মূলত, মহাকর্ষের একটি তত্ব যা আইনস্টাইন ১৯০৭–১৯১৫ সালে বিকশিত করেন। সাধারণ আপেক্ষিকতা বা আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্ব (ইংরেজিতে General Theory of Relativity তথা GTR নামে পরিচিত) বলতে বিজ্ঞানী আলবার্ট আইনস্টাইন কর্তৃক ১৯১৫ - ১৯১৬ সালে আবিষ্কৃত মহকার্ষের জ্যামিতিক তত্বকে বোঝায়। এটি বিশেষ আপেক্ষিকতা এবং নিউটনের মহাকর্ষ তত্বকে একীভূত করার মাধ্যমে একটি বিশেষ অন্তর্দৃষ্টির জন্ম দিয়েছে। অন্তর্দৃষ্টিলব্ধ বিষয়টি হচ্ছে, স্থান এবং কালের বক্রতার মাধ্যমে মহাকর্ষীয় ত্বরণকে ব্যাখ্যা করা সম্ভব। স্থান-কালের মধ্যস্থিত পদার্থের ভর-শক্তি এবং ভরবেগের কারণেই এই বক্রতার উৎপত্তি ঘটে।

এই তত্বে বলা হয়েছে, দুই বা ততোধিক ভরের মধ্যে পর্যবেক্ষণকৃত মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের কারণ হল, তারা নিজেদের ভরের মাধ্যমে আশেপাশের স্থান-কালকে বাঁকিয়ে দেয়। ব্যাপারটি অনেকটা টানটান করে বেঁধে রাখা একটি চাদরের মাঝখানে একটি বেশ ভারী পাথর রেখে দেয়ার মত। পাথর রাখার কারণে চাদরের কেন্দ্রভাগে একটি বক্রতার সৃষ্টি হয়। এখন চাদরের উপর অপেক্ষাকৃত কম ভরের আরেকটি পাথর রাখলে তা কেন্দ্রের দিকে ঝুঁকে পড়বে বা পড়ে যেতে চাইবে। দেখা যাচ্ছে বেশী ভরের পাথরের মাধ্যমে সৃষ্ট বক্রতার কারণে কম ভরের পাথরটি তার দিকে টান অনুভব করছে। মহাবিশ্বের ক্ষেত্রে এই চাদরটিই হল স্থান-কালের জালিকা। একটি বস্তুর কারণে এই জালিকায় সৃষ্ট বক্রতাই মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের কারণ। আইজ্যাক নিউটন মহাকর্ষ বলকে বস্তুসমূহের মধ্যে একটি আকর্ষণ হিসেবে বর্ণনা করেছিলেন। কিন্তু আইনস্টাইনের এই বক্তব্য ছিল আরও সঠিক। তাছাড়া এটি মহাকর্ষীয় তরঙ্গের মত আকর্ষণীয় ঘটনার ধারণা দেয়।

**সার্বিক বা সাধারণ আপেক্ষিক তত্বের কিছু ফলাফল:**

- সময় উচ্চতর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে আরও বেশি ধীর লয়ের হয়।

*[মুসলিমদের ধর্মীয় গ্রন্থ পবিত্র কুরআনুল কারীম এবং হাদীসের বিভিন্ন নুসুস থেকে সময়ের আপেক্ষিকতার ইংগিত পাওয়া যায়। এছাড়া এটি ইসলামের সর্বশেষ রাসূল মুহাম্মদ [স.] এর পবিত্র জবান নিঃসৃত মিরাজের রজনীর বর্ণনা থেকে, উচ্চতর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে সময়ের ধীরে চলার বিষয়টি পাওয়া যায়।]*

- মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের উপস্থিতিতে আলোর গতিপথ বেকে যায়।
- মহাবিশ্ব সম্প্রসারণ করছে, এবং তার দূরবর্তী অংশ আলোর গতির চেয়ে দ্রুততর গতিতে দূরে সরে যাচ্ছে।

*[আপেক্ষিকতার এই মহাবিশ্ব সম্প্রসারণের বিষয়টি বিগ ব্যাং বা মহা বিস্ফোরণ তত্ব নামে পরিচিত; যা মুসলিমদের ধর্মীয় গ্রন্থ পবিত্র কুরআনুল কারীম এর (২১:৩০, ৪১:১১, ৫১:৪৭) নুসুস থেকে পাওয়া যায়।]*

## স্থিতি ও স্থিতিশীল বস্তু

**স্থিতিশীল বস্তু:** সময় পরিবর্তনের সাথে সাথে যখন পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে কোনো বস্তু যদি তার অবস্থানের পরিবর্তন না ঘটায়, তখন ঐ বস্তুকে স্থিতিশীল বস্তু বলে। আর বস্তুর এই অবস্থান পরিবর্তন না হওয়ার ঘটনাকে বলা হয় স্থিতি।

**স্থিতি:** সময়ের সাথে পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে কোনো বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তন না হওয়াকে স্থিতি বলে।

**আপেক্ষিক স্থিতি:** কোনো গতিশীল বস্তুর সাপেক্ষে অন্য কোনো বস্তুর স্থির অবস্থাকে আপেক্ষিক স্থিতি বলে।

**পরম স্থিতি:** প্রসঙ্গ বস্তু যদি প্রকৃতপক্ষে স্থির হয় তাহলে তার সাপেক্ষে যে বস্তু স্থিতিশীল রয়েছে সেও প্রকৃতপক্ষে স্থির। এ ধরনের স্থিতিকে পরম স্থিতি বলে।

## গতি ও গতিশীল বস্তু

**গতিশীল বস্তু:** সময় পরিবর্তনের সাথে সাথে যখন পারিপাশ্বিকের সাপেক্ষে কোনো বস্তু তার অবস্থানের পরিবর্তন ঘটায়, তখন ঐ বস্তুকে গতিশীল বস্তু বলে। আর বস্তুর এই অবস্থান পরিবর্তনের ঘটনাকে বলা হয় গতি।

**গতি:** সময়ের সাথে পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে কোনো বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তনকে গতি বলে।

**আপেক্ষিক গতি:** দুটি চলমান বস্তুর মধ্যে একটির সাপেক্ষে অপরটির গতিকে আপেক্ষিক গতি বলে।

**পরম গতি:** পরম গতি মানে বস্তুর প্রকৃত গতি। পরম স্থিতিশীল প্রসঙ্গ বস্তুর সাপেক্ষে কোনো বস্তুর গতিকে পরম গতি বলে।

## বিভিন্ন প্রকার গতি

**একমাত্রিক গতি বা রৈখিক গতি:** সময় পরিবর্তনের সাথে সাথে যখন কোনো বস্তুর অবস্থান একটি সরল রেখা বরাবর পরিবর্তিত হতে থাকে, তখন তাকে একমাত্রিক গতি বা রৈখিক গতি বলা হয়।

অন্যভাবে বলা যায়, কোনো বস্তু যদি একটি সরলরেখা বরাবর গতিশীল হয় এবং ওই সরলরেখা বরাবর সীমাবদ্ধ থাকে তাহলে তার গতিকে একমাত্রিক গতি বা রৈখিক গতি কিংবা সরলরৈখিক গতি বলে।

**দ্বিমাত্রিক গতি বা সমতলীয় গতি:** সময় পরিবর্তনের সাথে সাথে যখন কোনো বস্তুর অবস্থান কোনো সমতলের উপর পরিবর্তিত হতে থাকে, তখন তাকে দ্বিমাত্রিক গতি বা সমতলীয় গতি বলা হয়।

**ত্রিমাত্রিক গতি বা স্থানিক গতি:** সময় পরিবর্তনের সাথে সাথে যখন কোনো বস্তুর অবস্থান যেকোনো দিক পরিবর্তিত হতে থাকে, তখন তাকে ত্রিমাত্রিক গতি বা স্থানিক গতি বলা হয়।

**ঘূর্ণন গতি:** যখন কোনো বস্তু কোনো নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষ থেকে বস্তু কণাগুলোর দূরত্ব অপরিবর্তিত রেখে ঐ বিন্দু বা অক্ষকে কেন্দ্র করে ঘোরে তখন সেই বস্তুর গতিকে ঘূর্ণন গতি বলে।

**চলন গতি:** কোনো বস্তু যদি এমন ভাবে চলতে থাকে যাতে করে বস্তুর সকল কণা একই সময়ে একই দিকে সমান দূরত্ব অতিক্রম করে তাহলে সেই বস্তুর গতিকে চলন গতি বলে।

**পর্যাবৃত্ত গতি:** কোনো গতিশীল বস্তুর গতি যদি এমন হয় যে, এটি এর গতিপথে কোনো নির্দিষ্ট সময় পরপর একই দিক থেকে অতিক্রম করে, তবে সেই গতিকে পর্যাবৃত্ত কি বলে।

**স্পন্দন গতি:** পর্যাবৃত্ত গতিসম্পন্ন কোনো বস্তু যদি পর্যায়কালের অর্ধেক সময় কোনো নির্দিষ্ট দিকে বাকি অর্ধেক সময় একই পথে তার বিপরীত দিকে চলে তবে এর গতিকে স্পন্দন গতি বলে।

## গতি সংক্রান্ত বিভিন্ন রাশি

**পর্যায়কাল:** পর্যাবৃত্ত গতি সম্পন্ন কোনো বস্তু যে নির্দিষ্ট সময় পরপর নির্দিষ্ট বিন্দুকে নির্দিষ্ট দিক দিয়ে অতিক্রম করে, সে সময় কে পর্যায়কাল বলে। ইহাকে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পর্যাকালকে সময়ের এককের সাথে তুলনা করে পরিমাপ করা হয়।

**সময়:** সময় হচ্ছে পরিমাপক, যা ঘটে গেছে, যা ঘটছে, যা ঘটবে এই তিনটির ভেতরে পার্থক্য নিরূপনকারী পরিমাপই হচ্ছে সময়। অর্থাৎ, অতীত বর্তমান ও ভবিষ্যতের মধ্যে পার্থক্যকারীকে সময় বলা হয়।

সময় একটি ভৌত রাশি যা অতীত থেকে বর্তমান এবং ভবিষ্যতের দিকে ক্রমে ধাবিত হয়। সময় সম্বন্ধে একাধিক স্বতন্ত্র মতবাদ রয়েছে। একটি মতানুসারে সময় মহাবিশ্বের মৌলিক কাঠামোর একটি অংশ যেটি একটি বিশেষ মাত্রা এবং যেখানে ভৌত ঘটনাসমূহ একটি ক্রমধারায় ঘটে।

চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানে সময়ের পরিমাপ পর্যবেক্ষকের গতির দ্বারা প্রভাবিত হয় না। পর্যবেক্ষক- যিনি সময় হিসেব করছেন, তিনি স্থির থাকুন কিংবা গতিশীল, সর্বাবস্থায় তিনি কোন একটি ঘটনা ঘটার সময়কাল একই রকম মাপবেন। অর্থাৎ, চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানে সময়কে ধ্রুবক বা পরম বিবেচনা করা হয়।

তবে, আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের মতে, পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে বস্তু যদি আলোর ন্যায় কিংবা তার কাছাকাছি বেগে গতিশীল হয় তবে, সময়কাল বেড়ে যায়। অর্থাৎ, আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানে সময়কে ধ্রুবক বা পরম নয় বরং আপেক্ষিক বিবেচনা করা হয়।

সময় একটি স্কেলার রাশি। সময়কে t দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সময়ের মাত্রা, [t] = T এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে সময়ের একক সেকেন্ড (s)।

**দূরত্ব:** কোনো বস্তুর দ্বারা অতিক্রান্ত পথকে দূরত্ব বলে।

অর্থাৎ, কোনো বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তন করার জন্য যে রাশি ব্যবহার করা হয় তাই দূরত্ব।

দূরত্ব একটি স্কেলার রাশি। দূরত্বকে দৈর্ঘ্যের সাথে তুলনা করে পরিমাপ করা হয়। দৈর্ঘ্যকে s দ্বারা প্রকাশ করা হয়। দৈর্ঘ্যের মাত্রা, [*s*] = L এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক মিটার (m)।

**সরণ:** নির্দিষ্ট দিকে পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে কোনো বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তন কে সরণ বলে। অন্যভাবে, নির্দিষ্ট দিকে কোনো বস্তুর অতিক্রান্ত পথকে সরণ বলে।

সরণ একটি ভেক্টর রাশি। এর স্কেলার বা মান হচ্ছে দূরত্ব। সুতরাং বলা যায়, নির্দিষ্ট দিকে কোনো বস্তুর দূরত্বকে ঐ বস্তুর সরণ বলে। সরণকেও দৈর্ঘ্যের সাথে তুলনা করে পরিমাপ করা হয়। দৈর্ঘ্যের প্রতিক, মাত্রা এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে একক হচ্ছে যথাক্রমে *s*, L এবং মিটার (m)।

**দ্রুতি:** সময়ের সাথে কোনো বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তনকে দ্রুতি বলে।

বস্তুর একক সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব দ্বারা দ্রুতি পরিমাপ করা যায়। দ্রুতি একটি স্কেলার রাশি। একে v দ্বারা প্রকাশ করা হয়। দ্রুতির মাত্রা, [*v*] = $LT^{-1}$ এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে দ্রুতির একক $ms^{-1}$। আমাদের আলোচনা রৈখিক দ্রুতি সম্পর্কিত। তাই, দ্রুতি বলতে আমরা এ অধ্যায়ে রৈখিক দ্রুতিকেই বুঝাবো।

**সম বা সুষম দ্রুতি:** কোনো বস্তু তার গতি কালে যদি কখনও দ্রুতির মানের কোনো পরিবর্তন না ঘটায় তাহলে তার দ্রুতিকে সম বা সুষম দ্রুতি বলে। অর্থাৎ বস্তুটি যদি সর্বদা সমান সময়ে সমান দূরত্ব অতিক্রম করে তাহলে ঐ বস্তুর দ্রুতিকে সুষম দ্রুতি বলে। অন্যভাবে বলা যায়, সময়ের সাথে কোন বস্তুর অবস্থান পরিবর্তনের হার অপরিবর্তিত থাকলে এর দ্রুতিকে সম বা সুষম দ্রুতি বলে।

**বিষম বা অসম দ্রুতি:** কোনো বস্তু তার গতি কালে যদি দ্রুতির মানের পরিবর্তন ঘটায় তাহলে তার দ্রুতিকে বিষম বা অসম দ্রুতি বলে। অর্থাৎ বস্তুটি যদি সর্বদা সমান সময়ে সমান দূরত্ব অতিক্রম না করে তাহলে ঐ বস্তুর দ্রুতিকে অসম দ্রুতি বলে।

**গড়দ্রুতি:** বস্তু যদি সুষম দ্রুতিতে না চলে তাহলে অতিক্রান্ত মোট দূরত্ব কে মোট সময় দিয়ে ভাগ করলে, গড়ে প্রতি একক সময়ে যে অতিক্রান্ত দূরত্ব পাওয়া যায় তাকে গড় দ্রুতি বলে।

**তাৎক্ষণিক দ্রুতি:** যে কোনো বস্তুর যে কোনো মুহূর্তে প্রকৃত দ্রুতিকে তাৎক্ষণিক দ্রুতি বলে।

**বেগ:** কোনো বস্তু নির্দিষ্ট দিকে একক সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তাকে বেগ বলে।

বেগ একটি ভেক্টর রাশি। এর স্কেলার বা মান হচ্ছে দ্রুতি। সুতরাং বলা যায় নির্দিষ্ট দিকে কোনো বস্তুর দ্রুতিকে ঐ বস্তুর বেগ বলে। অন্যভাবে বলা যায়, সময়ের সাথে নির্দিষ্ট দিকে কোনো বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তনকে বেগ বলে। বেগকে *v* দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বেগের মাত্রা এবং একক হচ্ছে দ্রুতির অনুরূপ। অর্থাৎ, বেগের মাত্রা এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে একক যথাক্রমে $LT^{-1}$ ও $ms^{-1}$। আমাদের আলোচনা রৈখিক বেগ সম্পর্কিত। তাই, বেগ বলতে আমরা এ অধ্যায়ে রৈখিক বেগকেই বুঝাবো।

**আদিবেগ ও শেষবেগ:** আদিবেগ বলতে কোনো একটি স্থির বস্তুর গতিশীল হবার পূর্ব মুহূর্তের বেগকে বুঝায়। শেষ বেগ বলতে কোনো একটি গতিশীল বস্তুর স্থির হবার পূর্ব মুহূর্তের বেগকে বুঝায়। আদিবেগ কে u বা $v_0$ দ্বারা এবং শেষবেগকে v দ্বারা সূচিত করা হয়। কোন বস্তু স্থির অবস্থান থেকে যাত্রা শুরু করলে তার আদিবেগ, $u = 0\ ms^{-1}$ হয়।

**সম বা সুষম বেগ:** যদি কোনো গতিশীল বস্তুর বেগের মান ও দিক উভয়ই অপরিবর্তিত থাকে তবে, সেই বস্তুর বেগ কে সম বা সুষম বেগ বলে।

অন্যভাবে বলা যায়, সময়ের সাথে কোন বস্তুর নির্দিষ্ট দিকে অবস্থান পরিবর্তনের হার অপরিবর্তিত থাকলে এর বেগকে সমবেগ বলে। সমবেগের ক্ষেত্রে $u = v$ হয়।

**বিষম বা অসম বেগ:** যদি কোনো গতিশীল বস্তুর বেগের মান অথবা দিক কিংবা উভয়ই পরিবর্তিত হয় তবে, তার বেগকে বিষম বা অসম বেগ বলে।

অন্যভাবে বলা যায়, কোনো বস্তু যদি সমান সময়ে সমান পথ অতিক্রম না করে এবং চলার সময়ে দিক পরিবর্তন করে তাকে অসম বেগ বলে।

**গড়বেগ:** কোন বস্তুর মোট অতিক্রান্ত দূরত্বকে মোট সময় দ্বারা ভাগ করলে যে বেগ পাওয়া যায় তাকে গড়বেগ বলে। এছাড়া, কোন বস্তুর আদিবেগ ও শেষবেগের গাণিতিক গড়কেও গড়বেগ বলে।

**তাৎক্ষণিক বেগ:** সময়ের ব্যবধান শূন্যের কাছাকাছি হলে সময়ের সাথে কোনো বস্তুর সরণের হারকে তাৎক্ষণিক বেগ বলে। অথবা, যে কোনো বস্তুর যে কোনো মুহূর্তে প্রকৃত বেগকে তাৎক্ষণিক বেগ বলে।

**ত্বরণ বা ধনাত্মক ত্বরণ:** সময়ের সাপেক্ষে কোনো বস্তুর বেগ বৃদ্ধির হারকে ত্বরণ বা ধনাত্মক ত্বরণ বলে।

ত্বরণ একটি ভেক্টর রাশি। একে $a$ বা $f$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ত্বরণের মাত্রা, $[a] = LT^{-2}$ এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে ত্বরণের একক $ms^{-2}$। কোনো বস্তু সমবেগে গতিশীল হলে তার ত্বরণ থাকে না। অর্থাৎ সমবেগে গতিশীল বস্তুর ত্বরণ, $a = 0\ ms^{-2}$ হয়। আমাদের আলোচনা রৈখিক ত্বরণ সম্পর্কিত। তাই, ত্বরণ বা ধনাত্মক ত্বরণ বলতে আমরা এ অধ্যায়ে রৈখিক ত্বরণকেই বুঝাবো।

**সম বা সুষম ত্বরণ:** কোনো বস্তুর বেগ যদি নির্দিষ্ট দিকে সবসময় একই হারে বাড়তে থাকে তাবে, সেই বস্তুর ত্বরণকে সম বা সুষম ত্বরণ বলে।

**বিষম বা অসম ত্বরণ:** কোনো বস্তুর বেগ বৃদ্ধির হার যদি সমান না থাকে তবে, সেই বস্তুর ত্বরণকে বিষম বা অসম ত্বরণ বলে।

**গড় ত্বরণ:** কোন একটি গতিশীল বস্তুর বেগের পরিবর্তন এবং ওই পরিবর্তনের জন্য ব্যয়িত সময় এর ভাগফলকে গড় ত্বরণ বলে।

**তাৎক্ষণিক ত্বরণ:** সময় ব্যবধান শূন্যের কাছাকাছি হলে সময়ের সাথে বস্তুর বেগের পরিবর্তনের হারকে ত্বরণ বা তাৎক্ষণিক ত্বরণ বলে। অথবা, যে কোনো বস্তুর যে কোনো মুহূর্তে প্রকৃত ত্বরণকে তাৎক্ষণিক ত্বরণ বলে।

**কেন্দ্রমুখী ত্বরণ:** সময় ব্যবধান শূন্যের কাছাকাছি হলে বৃত্তাকার পথে চলমান কোনো বস্তুর সময়ের সাথে বৃত্তের ব্যাসার্ধ বরাবর এবং বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে বেগের পরিবর্তনের হারকে কেন্দ্রমুখী ত্বরণ বলে।

**ঋণাত্বক ত্বরণ বা মন্দন:** সময়ের সাপেক্ষে কোনো বস্তুর বেগ হ্রাসের হারকে ঋণাত্বক ত্বরণ বা মন্দন বলে।

ঋণাত্বক ত্বরণ বা মন্দনকে, ধনাত্মক ত্বরণের সাথে তুলনা করে পরিমাপ করা হয়। ত্বরণ বা ধনাত্মক ত্বরণ a দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ত্বরণের মাত্রা $LT^{-2}$ এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে ত্বরণের একক $ms^{-2}$।

**বৃত্তাকার পথে গতিশীল কোনো বস্তুর ত্বরণ—** বৃত্তাকার পথে গতিশীল বস্তুর বেগের দিক সর্বদা পরিবর্তিত হয়। তাই সমদ্রুতিতে বৃত্তপথে ঘূর্ণনশীল বস্তুরও সর্বদা ত্বরণ থাকে। এই ত্বরণ বৃত্তের কেন্দ্র বরাবর ক্রিয়া করে বিধায় একে কেন্দ্রমুখী ত্বরণ বলে।

**মহাকর্ষ বল:** মহাবিশ্বের যেকোনো দুইটি বস্তুর মধ্যে যে আকর্ষণ বল অনুভূত হয় তাকে মহাকর্ষ বল (Gravitational Force) বলে। বলকে সাধারণত F দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বলের মাত্রা, $[F] = MLT^{-2}$ এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে বলের একক N কিংবা গুণনে প্রাপ্ত লব্ধ একক $kg\ ms^{-1}$।

**অভিকর্ষ বল:** পৃথিবী তার কেন্দ্রাভিমুখে সকল বস্তুকে যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে সেই বলকে অভিকর্ষ বা অভিকর্ষ বল বা অভিকর্ষজ বল বা মাধ্যাকর্ষণ বল বা Gravity বলে।

অর্থাৎ, মহাবিশ্বের দুটি বস্তুর মধ্যে একটি বস্তু যদি পৃথিবী হয় তবে তাদের মধ্যকার ক্রিয়াশীল মহাকর্ষ বলটিই অভিকর্ষ বল নামে পরিচিত।

## অভিকর্ষ বল একধরণের মহাকর্ষ বল

এই মহাবিশ্বের প্রতিটি বস্তুকণাই একে অপরকে আকর্ষণ করে। মহাবিশ্বের যেকোনো দুটি বস্তুর মধ্যে যে আকর্ষণ তাকে মহাকর্ষ বলে। আবার, পৃথিবী ও অন্য কোনো বস্তুর মধ্যকার বলকে অর্থাৎ কোনো বস্তুকে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করে তাকে অভিকর্ষ বলে। মহাবিশ্বের মধ্যে পৃথিবীও একটি বস্তু। সুতরাং অভিকর্ষ বল এক ধরনের মহাকর্ষ বল।

**মহাবিশ্বে মৌলিক বলের প্রকারভেদ:** মহাবিশ্বে মহাকর্ষ বল সহ সর্বমোট চার ধরণের মৌলিক বলের অস্তিত্ব পাওয়া যায়। অন্যসব বল এদের কোন না কোন রূপ। মৌলিক বল গুলো হলো—

1. মহাকর্ষ বল
2. তড়িৎ চৌম্বক বল বা বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় বল
3. দূর্বল নিউক্লিয় বল
4. সবল নিউক্লিয় বল

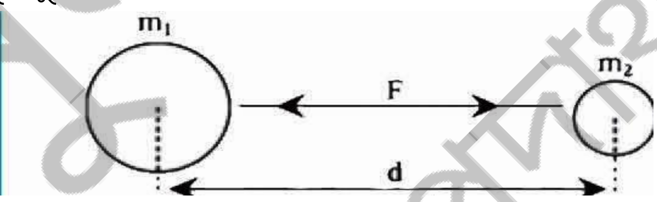
বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন এই চার ধরণের বলের মূল এক জায়গায় এবং তারা সবগুলোকে একই সূত্র দিয়ে ব্যাখ্যা করার চেষ্টা করছেন। ইতিমধ্যে তড়িৎ চৌম্বক ও দূর্বল নিউক্লিয় বলকে একই সূত্রে ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছে। এক্ষেত্রে মৌলিক বলকে মহাকর্ষ বল, ইলেক্ট্রো উইক বল এবং নিউক্লিয় বল –এই তিন ভাগেও বিভক্ত করা যায়। যা আমরা পরবর্তী অধ্যায়ে আলোচনা করবো ইনশাআল্লাহ।

**নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র:** "মহাবিশ্বের প্রতিটি বস্তুকণা একে অপরকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ বলের মান বস্তুকণাদ্বয়ের ভরের গুণফলের সামানুপাতিক এবং এদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। এই আকর্ষণ বল বস্তুকণা দ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।"

এটি নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র নামে পরিচিত। বিজ্ঞানী নিউটন সর্বপ্রথম মহাকর্ষ বলের গাণিতিক ব্যাখ্যা প্রদান করেন। আধুনিক পদার্থবিদ্যায় মহাকর্ষ সবচেয়ে সঠিকভাবে আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ব দ্বারা বর্ণনা করা হয়। আইনস্টাইনের মতে স্থান-কালের বক্রতার কারণেই মহাকর্ষ বল সৃষ্টি হয়। মুসলিমদের পবিত্র ধর্মীয় গ্রন্থ 'আল কুরআন' এর বিভিন্ন নুসুস থেকে মহাকর্ষের ধারণা পাওয়া যায়।

**নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্রের গাণিতিক রূপ:** $m_1$ ও $m_2$ ভরবিশিষ্ট মহাবিশ্বের দুটি বস্তু পরস্পর d দুরত্বে অবস্থান করলে এবং তাদের মধ্যকার মহাকর্ষ বলের মান যদি F হয় তবে, নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুসারে—

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$




এখানে G হচ্ছে মহাকর্ষীয় ধ্রুবক। একে সার্বজনীন মহাকর্ষীয় ধ্রুবক বলা হয়।

**মহাকর্ষীয় ধ্রুবক:** একক ভরের দুইটি বস্তু একক দুরত্ব থেকে যে বলে পরস্পরকে আকর্ষণ করে,তাকে মহাকর্ষীয় ধ্রুবক বলে। মহাকর্ষীয় ধ্রুবককে G দ্বারা প্রকাশ করা হয়। G এর আদর্শ মান $6.673 \times 10^{-11}$ N $m^2$ $kg^{-2}$। এর প্রকৃত মান $6.67259 \times 10^{-11}$ N $m^2$ $kg^{-2}$।

**মহাকর্ষীয় ধ্রুবককে সার্বজনীন বলার কারণ—** G এর মান বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর তথা প্রবেশ্যতা প্রবণতা বা দিকদর্শিতা বা ভৌত অবস্থার উপর নির্ভর করে না। অর্থাৎ কোনো কিছুর প্রভাবে G এর মানের পরিবর্তন ঘটে না। তাই মহাকর্ষীয় ধ্রুবক, G কে সার্বজনীন ধ্রুবক বলা হয়।

**অভিকর্ষজ ত্বরণ:** অভিকর্ষ বলের প্রভাবে মুক্তভাবে পড়ন্ত কোনো বস্তুর বেগ বৃদ্ধির হার কে অভিকর্ষজ ত্বরণ বলে। একে মাধ্যাকর্ষণ জনিত ত্বরণ নামেও অভিহিত করা হয়। অভিকর্ষজ ত্বরণ কে *g* দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অভিকর্ষজ ত্বরণ এক ধরণের ত্বরণ তাই এর মাত্রা এবং একক হচ্ছে ত্বরণের অনুরূপ। অর্থাৎ, অভিকর্ষজ ত্বরণের মাত্রা এবং এস আই (M.K.S) পদ্ধতিতে একক যথাক্রমে $LT^{-2}$ ও $ms^{-2}$। মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর বেগ নিচের দিকে সবসময় একই হারে বাড়তে থাকে, তাই অভিকর্ষজ ত্বরণ এক ধরনের সুষম ত্বরণ। নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্র হতে পাওয়া যায়—

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

এখানে, M হচ্ছে পৃথিবীর ভর = $6.01 \times 10^{24}$ kg
R হচ্ছে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = $6.4 \times 10^{6}$ kg
এবং G হচ্ছে মহাকর্ষীয় ধ্রুবক = $6.673 \times 10^{-11}$ N $m^2$ $kg^{-2}$

**অঞ্চলভেদে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান:** অভিকর্ষজ ত্বরণ পৃথিবীর ব্যাসার্ধের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। তাই, ভূ-পৃষ্ঠের অঞ্চলভেদে অভিকর্ষজ ত্বরণ, g এর মানের সামান্য তারতম্য দেখা যায়। যথা—

- মেরু অঞ্চলে, g = 9.83217 $ms^{-2}$
- বিষুবীয় অঞ্চলে, g = 9.78039 $ms^{-2}$
- ক্রান্তীয় অঞ্চলে, g = 9.78918 $ms^{-2}$

**অভিকর্ষজ ত্বরণ, *g* এর আদর্শ মান:** ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বিভিন্ন। তাই 45° অক্ষাংশে সমুদ্র সমতলের g এর মানকে আদর্শ মান ধরা হয়। এ মান হল 9.80665 $ms^{-2}$। হিসাবের সুবিধার্থে একে 9.8 $ms^{-2}$ অথবা 9.81 $ms^{-2}$ ধরা হয়।

## কোন স্থিতিই পরম বা কোন গতিই পরম নয় অথবা সকল স্থিতিই আপেক্ষিক বা সকল গতিই আপেক্ষিক

কোন বস্তু স্থির না গতিতে আছে তা জানার জন্য আমাদের অন্য একটি বস্তুর প্রয়োজন যার সঙ্গে তুলনা করে আমরা বস্তুটির স্থিতি বা গতি নির্ণয় করতে পারি। এই বস্তুটিকে বলা হয় প্রসঙ্গ বস্তু। প্রসঙ্গ বস্তুর সাপেক্ষে যদি কোন বস্তুর অবস্থান পরিবর্তিত না হয় তাহলে বস্তুটিকে স্থির বলে ধরা হয় এবং বস্তুটির এই অবস্থাকে বলে স্থিতি। আর প্রসঙ্গ বস্তুর সাপেক্ষে যদি বস্তুটির অবস্থান পরিবর্তিত হয় তাহলে বস্তুটিকে গতিশীল বলে ধরা হয় এবং বস্তুটির এই অবস্থাকে বলে গতি। প্রসঙ্গ বস্তুটি যদি প্রকৃতপক্ষে স্থির থাকে তবে তার সাপেক্ষে কোন বস্তুর স্থিতিকে বলে পরম স্থিতি এবং তার সাপেক্ষে কোন বস্তুর গতিকে বলে পরম গতি। কিন্তু এই মহাবিশ্বে এমন কোন বস্তু পাওয়া সম্ভব নয় যা প্রকিতপক্ষে স্থির আছে। যেমন পৃথিবী তার সমস্থ কিছু নিয়ে সূর্যের চারদিকে ঘুরছে আবার সূর্যও তার সমস্থ গ্রহ নিয়ে ঘূর্ণায়মান। অর্থাৎ মহাবিশ্বের সকল বস্তুই ঘূর্ণায়মান। যেহেতু প্রকৃত স্থির কোন প্রসঙ্গ বস্তু পাওয়া সম্ভব নয় তাই কোন পরম স্থিতি বা কোন পরম গতিও পাওয়া সম্ভব নয়। সুতরাং বলা যায়, সকল স্থিতিই আপেক্ষিক সকল গতিই আপেক্ষিক, পরম নয় কোন স্থিতি পরম নয় কোন গতি।

## গতির সমীকরণ সমূহ

যে সমীকরণগুলো ব্যবহার করে কোনো গতিশীল বস্তুর গতি সংক্রান্ত বিভিন্ন সমস্যার সমাধান করা যায় তাদেরকে গতির সমীকরণ বলে।

মাত্র চারটি সমীকরণ ব্যবহার করে কোনো গতিশীল বস্তুর গতি সংক্রান্ত বিভিন্ন সমস্যার সমাধান করা যায়। পরবর্তী অধ্যায়ে আমরা নিউটনের গতি সংক্রান্ত তিনটি সূত্র সম্পর্কে জানতে পারবো ইনশাআল্লাহ। এই অধ্যায়ে আমরা গতির যে সমীকরণ গুলো সম্পর্কে জানবো, সেগুলো প্রযোজ্য হবে বস্তুর সরলরৈখিক গতিতে।

ধরা যাক, কোনো বস্তু u আদিবেগ নিয়ে a ত্বরণে t সময় চলে s দুরত্ব অতিক্রম করে শেষবেগ v প্রাপ্ত হয়।

### গতির সমীকরণে ব্যবহৃত প্রতীক পরিচিতি:

- u বা $v_0$ = আদিবেগ
- a বা f = রৈখিক ত্বরণ
- t = অতিক্রান্ত সময়
- s = সরণ বা দৈর্ঘ্য বা দুরত্ব
- v = শেষবেগ

এই পাঁচটি রাশি তথা 'suvat' পরস্পর এমনভাবে সম্পর্কযুক্ত যে এর তিনটি রাশি জানা থাকলে বাকি দুইটি রাশি নির্ণয় করা যায়। এই জন্য চারটি সমীকরণ আছে। সুষম ত্বরণের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য এই প্রত্যেকটি সমীকরণে চারটি করে রাশি আছে। সমীকরণ গুলো নিম্নরুপ:

1. $v = u \pm at$
2. $s = \frac{(u \pm v)}{2} \times t$
3. $s = ut \pm \frac{1}{2} at^2$
4. $v^2 = u^2 \pm 2as$

উপরোক্ত সমীকরণগুলোতে,
$u < v$ হলে, a ধনাত্মক তথা ত্বরণ হবে। অর্থাৎ সমীকরণগুলোতে ধনাত্মক চিহ্ন ব্যবহৃত হবে।
$u > v$ হলে, a ঋণাত্মক তথা মন্দন হবে। অর্থাৎ সমীকরণগুলোতে ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহৃত হবে।
$u = v$ হলে, $a = 0$ হবে; তথা ত্বরণ থাকবে না।

## অবাধে পতনশীল বা মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে গ্যালিলিওর সূত্রাবলী

**পতনশীল বস্তু (Falling body):** পৃথিবীর টানে কোনো বস্তু পৃথিবীর দিকে পড়তে থাকলে, তাকে পতনশীল বস্তু বলে।

অভিকর্ষের প্রভাবে অবাধে পতনশীল, বস্তুর গতিবিধি পর্যালোচনা করে ইতালীয় পদার্থবিজ্ঞানী গ্যালিলিও গ্যালিলি তিনটি বিখ্যাত সূত্রের অবতারণা করেন, যেগুলো সাধারণভাবে পড়ন্ত বস্তুর সূত্র বলে পরিচিত। যা কেবল স্থির অবস্থান থেকে বিনা বাধায় সুষম ত্বরণে গতিশীল বস্তুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হবে। এসব বস্তুর ক্ষেত্রে অভিকর্ষ বল ছাড়া অন্য কোনো বল ক্রিয়া করবে না। যেমন বাতাসের বাধা (প্লবতা বা ঊর্ধ্বমূখী বল) ক্রিয়া করবে না। সূত্রগুলো নিম্নরূপ—

**প্রথম সূত্র:** "স্থির অবস্থান ও একই উচ্চতা থেকে বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তু সমান সময়ে সমান পথ অতিক্রম করবে।"

***ব্যাখ্যা:*** গ্যালিলিওর ১ম সূত্র থেকে প্রমাণিত হয় যে, মুক্তভাবে পড়ন্ত সব বস্তুর ত্বরণ তাদের ভরের ওপর নির্ভর করে না। নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুসারে অভিকর্ষ বল, বস্তুর ভরের সমানুপাতিক। তাই বিভিন্ন ভরের বস্তুকে বিভিন্ন বলে আকর্ষণ করলেও, বস্তুর ভর তার গতি পরিবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধকতা সৃষ্টি করে।

ভারী বস্তুর ওপর বেশি বল প্রয়োগ হয়, কিন্তু তার ভর বেশি হওয়ার ফলে, ভারী বস্তুটির বল ও ভরের অনুপাত যা হয়, তা হালকা বস্তুর ক্ষেত্রেও কম বল ও কম ভরের অনুপাতের সমান হয়। অর্থাৎ—

$$\frac{F_1}{m_1} = \frac{F_2}{m_2} = \frac{F_3}{m_3} = \ldots = \frac{F_n}{m_n} = \text{ধ্রুবক} = g$$

সুতরাং অভিকর্ষ বলের ভিন্নতার কারণে শুধুমাত্র বস্তুর ভরের পরিবর্তন অভিকর্ষজ ত্বরণের ওপর কোনো প্রভাব ফেলে না। তাই অভিকর্ষজ ত্বরণ বস্তুর ভর নিরপেক্ষ তথা একটি ধ্রুব রাশি।

**দ্বিতীয় সূত্র:** "স্থির অবস্থান থেকে বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর নির্দিষ্ট সময়ে (t) প্রাপ্ত বেগ (v) ঐ সময়ের সমানুপাতিক।"

অর্থাৎ $v \propto t$

বা, $v = \text{ধ্রুবক} \times t$

বা, $v / t = \text{ধ্রুবক} = g$

সুতরাং স্থিরাবস্থা থেকে মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর যেকোনো দুটি সময়ে তার বেগদ্বয়ের অনুপাত, ওই সময়দ্বয়ের অনুপাতের সমান; যা একটি ধ্রুব রাশি।

***ব্যাখ্যা:*** অভিকর্ষের প্রভাবে স্থিরাবস্থা হতে বাধাহীন পথে পতনশীল কোনো বস্তুর বেগ যদি এক সেকেন্ড পরে v হয় তবে তার বেগ দুই সেকেন্ড পরে 2v, তিন সেকেন্ড পরে 3v এবং n সেকেন্ডে nv হবে। সাধারণভাবে বলা যায় যে, কোনো একটি পড়ন্ত বস্তুর $t_1$ ও $t_2$ সময়ে বেগ যথাক্রমে $v_1$ ও $v_2$ হলে—

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_1}{t_2}$$

**তৃতীয় সূত্র:** "স্থির অবস্থান থেকে বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তু নির্দিষ্ট সময়ে যে দূরত্ব (h) অতিক্রম করে তা ঐ সময়ের (t) বর্গের সমানুপাতিক।"

অর্থাৎ $h \propto t^2$

বা, $h = \text{ধ্রুবক} \times t^2$

বা, $h / t^2 = \text{ধ্রুবক} = g$

সুতরাং স্থিরাবস্থা থেকে মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর যেকোনো দুটি সময়ে তার অতিক্রান্ত দূরত্বের অনুপাত, ওই সময়দ্বয়ের বর্গের অনুপাতের সমান; যা একটি ধ্রুব রাশি।

***ব্যাখ্যা:*** অভিকর্ষের প্রভাবে স্থিরাবস্থা হতে বাধাহীন পথে পতনশীল কোনো বস্তু যদি প্রথম সেকেন্ডে h দূরত্ব অতিক্রম করে তবে বস্তুটি দুই সেকেন্ডে $2^2h$, তিন সেকেন্ডে $3^2h$ এবং n সেকেন্ডে $n^2h$ দূরত্ব অতিক্রম করবে। কাজেই বস্তুটি $t_1$ ও $t_2$ সময়ে যথাক্রমে $h_1$ ও $h_2$ দূরত্ব অতিক্রম করলে—

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে, নিউটনের গতির সমীকরণ গুলোতে অতিক্রান্ত দূরত্ব, s এর স্থলে উচ্চতা, h এবং রৈখিক ত্বরণ, a এর স্থলে অভিকর্ষজ ত্বরণ, g বসিয়ে পড়ন্ত বস্তুর সমীকরণ বের করা যায়। যা আসলে গ্যালিলিওর পড়ন্ত বস্তু সম্পর্কিত তিনটি সূত্রের সমীকৃত রূপ। পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে গতির সমীকরণ গুলোর সাহায্যে দেখা যায়, স্থির অবস্থান থেকে বিনা বাধায় বস্তুকে ছেড়ে দিলে n গুণ দূরত্বে বেগ, পূর্বের বেগের $\sqrt{n}$ গুণ হবে এবং পূর্বের বেগের $(\sqrt{n} - 1)$ গুণ বেগ বৃদ্ধি পায়।

## গতির সমীকরণ গুলো ছক আকারে লিখলে পাই—

<table>
<tr><th>ত্বরণের ক্ষেত্রে</th><th>মন্দনের ক্ষেত্রে</th><th>পড়ন্ত বস্তু ক্ষেত্রে</th><th>খাড়া উপরে নিক্ষিপ্ত বস্তুর ক্ষেত্রে</th></tr>
<tr><td>$v = u + at$</td><td>$v = u - at$</td><td>$v = u + gt$</td><td>$v = u - gt$</td></tr>
<tr><td>$s = \frac{(u+v)}{2} \times t$</td><td>$s = \frac{(u-v)}{2} \times t$</td><td>$h = \frac{(u+v)}{2} \times t$</td><td>$h = \frac{(u-v)}{2} \times t$</td></tr>
<tr><td>$s = ut + \frac{1}{2} at^2$</td><td>$s = ut - \frac{1}{2} at^2$</td><td>$h = ut + \frac{1}{2} gt^2$</td><td>$h = ut - \frac{1}{2} gt^2$</td></tr>
<tr><td>$v^2 = u^2 + 2as$</td><td>$v^2 = u^2 - 2as$</td><td>$v^2 = u^2 - 2gh$</td><td>$v^2 = u^2 - 2gh$</td></tr>
<tr><td colspan="4">th তম সময়ে অতিক্রান্ত দুরত্ব $\mathbf{s_{th}}$ হলে</td></tr>
<tr><td>$s_{th} = u + \frac{1}{2} a (2t - 1)$</td><td>$s_{th} = u - \frac{1}{2} a (2t - 1)$</td><td>$h_{th} = u + \frac{1}{2} g (2t - 1)$</td><td>$h_{th} = u - \frac{1}{2} g (2t - 1)$</td></tr>
<tr><td colspan="4">গড়বেগের ক্ষেত্রে</td></tr>
<tr><td>$\bar{V} = u + \frac{1}{2} at$</td><td>$\bar{V} = u - \frac{1}{2} at$</td><td>$\bar{V} = u + \frac{1}{2} gt$</td><td>$\bar{V} = u - \frac{1}{2} gt$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\bar{V} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \cdots + s_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \cdots + t_n}$</td><td colspan="2">$\bar{V} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \cdots + t_n}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">সমবেগের ক্ষেত্রে</td></tr>
<tr><td colspan="2">$s = vt$</td><td colspan="2">$h = vt$</td></tr>
<tr><td colspan="4">স্থির অবস্থা হতে সমত্বরণের ক্ষেত্রে</td></tr>
<tr><td colspan="2">$v = at$</td><td colspan="2">$v = gt$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$</td><td colspan="2">$\frac{h_1}{h_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">$\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_1}{t_2}$</td></tr>
</table>